

水电站压力管道

第八届全国水电站压力管道学术会议文集

中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水电站压力管道

——第八届全国水电站压力管道学术会议文集

中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司 主编



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本文集收录了有关水电站压力管道新规范、新材料、新技术应用等方面的最新研究成果和学术探讨论文 93 篇,分为压力管道,分岔管,伸缩节、波纹管及蜗壳,施工工艺及材料,管道规范与设计标准等五部分。其中,压力管道 28 篇,分岔管 20 篇,伸缩节、波纹管及蜗壳 13 篇,施工工艺及材料 24 篇,管道规范与设计标准 8 篇。

本文集可供从事水电站压力管道研究、设计及制造、安装的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

水电站压力管道:第八届全国水电站压力管道学术会议文集 / 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司主编. — 北京:中国水利水电出版社, 2014. 8
ISBN 978-7-5170-2317-3

I. ①水… II. ①中… III. ①水力发电站—压力管道—学术会议—文集 IV. ①TV732.4-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第181846号

书 名	水电站压力管道 ——第八届全国水电站压力管道学术会议文集
作 者	中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 40.75印张 966千字
版 次	2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	120.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

《水电站压力管道——第八届全国水电站 压力管道学术会议文集》

主办单位 中国水力发电工程学会水工及水电站建筑物专业委员会
中国水利学会水工结构专业委员会
水电站压力管道信息网
中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司
武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室

编 委 会

顾问 党林才 鲁一暉

主任委员 王仁坤

副主任委员 黄彦昆 伍鹤皋 王寿根 李旭东 陈子海

委 员 (按拼音排序)

白学翠 陈美娟 邓学平 冯仕能 姜树立
李德萍 李 云 毛文然 彭智祥 石长征
苏 凯 万天明 万里飘 王志国 杨怀德
张曼曼 张 勇 钟秉章

前 言

为了促进水电站压力管道结构设计和工程实践的进步，交流水电站压力管道近年来在科研、设计及制造、施工方面的科技成果，由中国水力发电工程学会水工及水电站建筑物专业委员会、中国水利学会水工结构专业委员会、水电站压力管道信息网、中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司、武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室共同组织，于2014年9月在成都召开“第八届全国水电站压力管道学术会议”，并同步出版本届会议论文集。

本届会议充分交流了水电站压力管道建设的成功经验及教训，对进一步提高我国在压力管道研究、设计及制造施工和运行管理方面的技术水平具有重要的现实意义。

本届会议文集共收编学术论文93篇，分为压力管道，分岔管，伸缩节、波纹管及蜗壳，施工工艺及材料，管道规范与设计标准等五部分。文集紧紧围绕我国现阶段的水电建设项目，系统地整理了近年来在压力管道的理论研究、工程设计、施工技术、材料选型等方面取得的丰硕成果，全面总结了我国近年来压力管道的建设经验，这些宝贵的技术信息对进一步提高我国压力管道的发展水平将起到很好的促进作用。

在我国近年建设的许多大型水电站和抽水蓄能电站中，地下埋管仍然是主要的引水管道结构形式，如溪洛渡、向家坝、锦屏、三峡等大型水电站以及仙居、洪屏、琼中、天池、呼和浩特、张河湾等抽水蓄能电站。钢筋混凝土作为地下埋藏式压力管道的衬砌形式之一，设计理念已由把围岩作为荷载转变为把围岩作为承载体，提出的以围岩为承载体的地下埋管设计准则在工程中得到了成功应用，取得了明显的经济效益。近年来，在“安全第一”和“资产全寿命周期管理”总体最优的思想指导下，地下埋藏式钢管在高水头抽水蓄能电站引水系统中的应用越来越普遍，但其设计理论和方法总体变化不大，主要变化体现在新材料和新工艺的研发和推广应用等方面。

近年来混凝土坝下游面钢衬钢筋混凝土压力管道（简称背管）在坝后式

水电站中得到了进一步的推广和应用，例如金沙江中下游的金安桥、阿海、龙开口、观音岩、向家坝水电站以及澜沧江下游的景洪水电站。为了避免管坝施工相互干扰，同时提高背管承受高烈度地震（例如 9 度）荷载作用的能力，这些电站大多采用了浅槽式钢衬钢筋混凝土管道形式（即管道一半左右布置在坝下游面以外），对管道两侧的管坝接缝面取消垫层而采用键槽加插筋的接缝形式，也取得了成功。由于 600MPa 级高强钢的普及应用，并考虑到背管结构混凝土裂缝的存在和为了减小厂坝之间的距离，近年来也有些电站开始采用预留管槽的浅埋式坝内埋管（或垫层管）形式，如藏木、丰满水电站压力管道。因此，有必要在分析愈来愈多的原型观测资料的基础上，认真总结规律和经验，为坝后式水电站压力管道形式的选择提出更科学的依据。

此外，在长距离、复杂地基和高地震区的输水钢管设计、施工、新材料和新工艺的研究等方面，我国也取得了丰硕的成果。比如复式万向型波纹管伸缩节、新型钢管支座的研究与应用，解决了牛栏江—滇池补水工程输水钢管过小江区域活动断裂带的关键技术问题，为我国今后其他引水工程（如滇中引水工程等）类似技术难题的解决提供了宝贵的经验。

随着水电站建设规模的不断增大，引水发电系统分岔管的 HD 值也愈来愈高。在广大工程技术人员的共同努力下，无论是钢岔管还是钢筋混凝土岔管设计、施工，都取得了前所未有的成就。中国水电工程顾问集团公司企业标准《地下埋藏式内加强月牙肋岔管设计导则》（Q/HYDROCHINA008—2011）颁布以后，地下埋藏式钢岔管已经实现了由过去的按明钢岔管设计向围岩联合承载的转变。为了减小钢岔管管壁厚度，降低厚钢板的焊接困难，国内许多单位还组织开展了 800MPa 级甚至 1000MPa 级高强钢及其相关施工工艺的研发和应用，目前国产的 800MPa 级高强钢已经成功应用于内蒙古呼和浩特抽水蓄能电站，成果卓著。

随着三峡、向家坝、溪洛渡等巨型水电站的建成发电，水轮机蜗壳结构形式（或埋入方式）的优化设计研究也取得了丰硕的成果。不仅充水保压蜗壳和垫层蜗壳结构形式已经成功地应用于三峡、龙滩、拉西瓦等水电站的 700MW 巨型水轮发电机组，而且由我国创造性地提出的设置局部垫层的直埋蜗壳新结构形式，也已经在三峡、向家坝、溪洛渡等水电站中成功应用，为我国乌东德、白鹤滩等一大批巨型水电站蜗壳结构形式的选择提供了系统的设计理论方法和丰富的工程实践经验。

近年来，随着海外水电工程业务的快速发展，中国水电工程技术标准国际化已成为困扰和制约我国对外承包工程行业发展的因素之一，如何将中国工程技术标准与国际技术标准接轨并推向国际市场，是打破国际市场技术壁

垒、增强我国企业综合竞争力的关键。通过对中国水电技术标准和国外标准内容的对比，以及据此进行的设计成果的比较，找出差异所在，分析各自的适用条件，是解决中外标准统一化问题的关键所在。美国和欧盟标准作为国际主流设计标准的典型代表，几乎得到世界各地的认可，国内许多设计、研究及施工单位结合各自承担的海外工程，对这些国外标准的引进和应用做了大量的工作，取得了很好的效果。

以上成果的取得，不仅为水电站压力管道专业的技术进步提供了坚实的理论基础和丰富的工程实践经验，而且可为新一轮的水电站压力钢管设计规范的修编提供参考依据，值得我们进一步总结、分析和交流。因此，有理由相信本文集对于提高我国水电站压力管道的研究、设计、制造、施工和运行水平，推动我国水电工程技术标准的国际化将起到重要的促进作用。

在文集的编印过程中得到了全国各水电水利工程设计、施工、科研院所等相关单位以及诸多专家的鼎力支持，在此表示衷心感谢！

由于组编文集时间紧迫，经验和专业水平不足，如存在错误和问题，敬请读者批评指正。

编委会

2014年8月

目 录

前言

一、压力管道

- 3 溪洛渡水电站压力管道灌浆设计
苟芙蓉 杨怀德 邱云
- 11 地下气垫式调压室首次采用钢管闭气型式的应用
张团 郭元元 杨兴义
- 14 吉牛水电站压力管道结构设计
曾海钊 杨斌 陈子海
- 20 基于厂区三维渗流分析的压力管道钢衬优化设计
祖威
- 25 仙居抽水蓄能电站引水隧洞钢衬设计
王东锋 陈丽芬
- 30 白鹤滩水电站压力管道衬砌型式选择
杨飞 吕慷 吴旭敏 陈益民 倪绍虎
- 37 地下埋管外排水系统设计
张建辉 顾一新 刘洋 张煜
- 42 丰满水电站压力钢管布置研究
刘锋 贾晶岩 姜树立
- 49 丰满水电站压力钢管三维有限元计算研究
姜树立 刘锋 伍鹤皋 胡蕾
- 56 局部钢衬在高水头不良地质洞段处理中的应用
张建辉 宋守平 范永 刘文斌
- 60 浅谈寒冷地区压力钢管抗冻设计
杨鹏 郝鹏

- 67 董箐水电站压力钢管设计
申显柱 李晓彬
- 74 山东文登抽水蓄能电站高压管道衬砌型式选择
杜贤军 王文芳 梁健龙
- 81 压力钢管支承环结构计算分析
吴坤占 张战午 李冲
- 89 地面式钢衬钢筋混凝土管道温度作用机理与取消伸缩节研究
杨经会 冯建武 刘曜 伍鹤皋 胡蕾 谢颖涵
- 97 沙沱水电站坝后背管设计
罗玉霞
- 102 龙开口水电站大断面坝后式背管温度应力分析
陈晓江
- 108 加纳布维水电站坝下游面明钢管设计
路前平 费秉宏 廖春武 鹿宁
- 112 牛栏江—滇池补水工程输水线路过小江活动断裂带方案研究
朱国金 李云 凌云
- 118 滇中引水工程龙川江倒虹吸结构型式比选研究
司建强 李云 朱国金
- 123 柔性回填钢管的设计方法与实例分析
石长征 伍鹤皋 袁文娜
- 135 锦屏水电站压力管道衬砌裂缝处理探讨
张旻
- 140 高压钢筋混凝土隧洞计算方法分析
唐碧华 谢金元 曾海钊
- 144 内套钢衬在水工压力隧洞渗漏处理中的应用
谢金元
- 149 抽水蓄能电站竖井式进水口下弯段三维有限元结构分析
李冲
- 158 水电站尾水洞挂顶混凝土衬砌结构受力特性研究
李冲 孙云峰 彭越尧
- 164 锦屏二级引水隧洞施工辅助通道封堵优化设计实践
何江 张洋 吉玉亮

- 170 向家坝地下电站引水洞检修方案及思考
易 志

二、分岔管

- 179 基于美国 ASCE 规范的 GIBE III 水电站引水钢岔管设计
杨兴义 伍鹤皋 石长征 周彩荣
- 187 琼中抽水蓄能电站高压岔管衬砌形式选择与结构计算
王化龙 苏 凯 伍鹤皋 周亚峰
- 194 蟠龙抽水蓄能电站月牙肋钢岔管的结构设计与水力数值模拟
邱树先 伍鹤皋 周彩荣 汪 洋
- 202 南欧江六级水电站岔管结构计算与选型分析研究
崔留杰 喻建清 苏 凯 汪 洋 伍鹤皋
- 213 月牙肋钢衬钢筋混凝土岔管设计与三维数值分析
杨海红 黄 涛 伍鹤皋
- 221 抽水蓄能电站国产 800MPa 级钢材钢岔管模型试验研究
陈丽芬 孟江波 王东锋
- 227 影响月牙肋钢岔管有限元计算结果主要因素的初步分析
孟江波 陈丽芬
- 233 西龙池抽水蓄能电站埋藏式月牙肋岔管考虑围岩分担内水压力设计的验证
王志国 李 明 胡五星
- 241 埋藏式卜形月牙肋钢岔管结构受力特性研究
宋蕊香 黄海锋 刘 新 陆冬生
- 248 格里桥水电站月牙肋钢岔管设计
李治业
- 254 甘肃省杂木河神树水电站钢岔管结构设计
冯 华
- 262 地下埋藏式钢岔管体型设计与结构计算分析
苏 凯 伍鹤皋 周彩荣 杨海红
- 270 不同体型岔管群水力损失规律分析
张晓曦 陈 迪 程永光

- 278** 国产 790MPa 级高强钢岔管水压试验测试及监测技术特性及成果
张伟平 胡木生
- 289** 基于 CATIA 二次开发的水电站月牙肋钢岔管三维辅助设计系统
何新红 伍鹤皋 石广斌 付山 汪洋
- 297** 钢岔管计算机辅助设计二次开发研究与应用
汪洋 伍鹤皋 付山
- 305** 基于 CATIA 的梁式钢岔管辅助设计系统开发与应用
刘园 伍鹤皋 石长征 付山
- 311** 基于 MicroStation 平台对称 Y 形钢岔管设计模块的开发应用
曹竹 杨建城
- 317** 平底等截面岔管体型设计与计算
傅金筑 沈大伟 颜英军 何新红 许敏
- 323** 肋板对埋藏式岔管的应力分布影响
陆强

三、伸缩节、波纹管及蜗壳

- 331** 波纹管伸缩节在水利水电行业的应用与展望
张为明 鲍乐 汪飞 卫书满
- 340** Rudbar 水电站主副厂房分缝处引水钢管取消伸缩节研究
聂金育
- 347** 大口径高压膨胀节波形方案分析与讨论
梁薇 王文刚 於松波 周海龙 谢月
- 354** 水利水电用 Ω 膨胀节设计分析与对比
於松波 王文刚 梁薇 谢月 周海龙
- 362** 某水电站蜗壳不同结构型式受力特征比较分析
马玉岩 龚少红 王蕊
- 368** 锦屏一级水电站蜗壳外围混凝土结构设计
熊先涛 廖成刚
- 378** 水电站厂房钢筋混凝土蜗壳结构分析
黄克戩
- 385** 不同边界条件下地下厂房直埋式蜗壳弹塑性分析
侯攀 赵晓峰 伍鹤皋

392 大型水轮发电机组蜗壳安全监测设计及分析评价
刘畅 李俊 彭薇薇 赵晓峰

399 实现水电站蜗壳结构受力特性控制的初步设想
张启灵 伍鹤皋

406 基于伸缩节过缝的垫层蜗壳结构优化分析
聂金育

413 一种实用新型滑动支座在水电站压力钢管上的应用
张战午 陈启丙

417 水电站技术供水系统分析及新技术推广应用探索
文习波

四、施工工艺及材料

427 浅析向家坝水电站超大直径引水压力钢管制作与安装优化
周建平

433 亭子口水利枢纽工程伸缩节选型特点及现场组装技术简介
周建平

439 向家坝水电站超大直径引水隧洞压力钢管 B610CF 高强度焊接技术
侯明

449 大岗山水电站蜗壳与压力钢管高强度凑合节安装及焊接技术
李金明 余丽梅

453 论述苏巴姑水电站 1200m 超高水头水压试验部位及平板闷头设计
刘云坤

460 隧洞式引水压力钢管（埋管）洞内组圆制造安装技术
万天明

467 水电站引水压力钢管空间平面弯管安装位置确定方法
赵小勇

473 四川某水电站引水压力钢管质量事故典型案例探讨
万天明

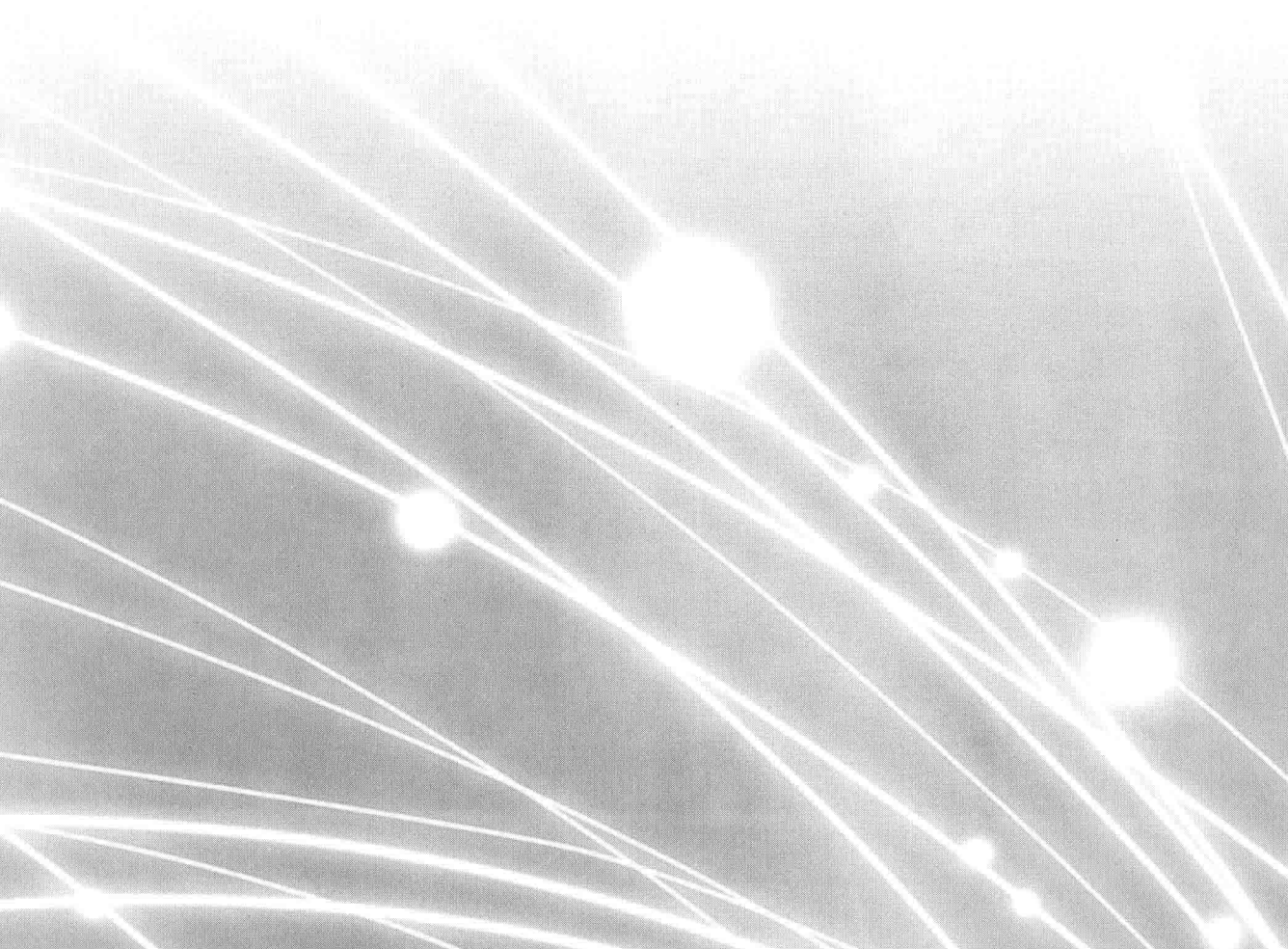
480 三峡右岸地下电站压力钢管安装焊接质量控制
卫书满

- 485 压力钢管用卷板机使用常见问题技术研究
万天明
- 492 A517 高强钢岔管制作技术
张世平 赖德元 荣 珍
- 500 可持续创新的水工钢管先进制造技术
彭智祥
- 505 埃塞俄比亚吉布Ⅲ压力钢管岔管 U 形梁成型控制
王 剑 张有林
- 509 呼和浩特抽水蓄能电站岔管水压试验封头设计选型
王 剑 张有林
- 515 大岗山水电站大坝泄洪深孔钢衬制作
陈双发 左 琛
- 520 液压整体提升技术在水电站压力钢管安装中的应用
周建平
- 525 常用办公软件 Excel 和 CAD 绘制压力钢管展开图
鲁晋旺
- 533 水电站压力钢管锥形岔管放样参数化研究
高顺阶 张建中 刘桂芳
- 543 钢管展开 CAD 自动成图系统 (PSCAD) 的开发和应用
熊 将 杜英奎 张 杰
- 546 低温韧性及焊接性优良的 780MPa 级大型水电站用钢板开发
刘自成 孙 震 郭 文 李先聚 吴 勇
- 552 高性能压力钢管用 WSD690E 钢板的焊接性能
王宪军 李书瑞 刘文斌 战国峰 杨秀丽
- 557 首钢水电压力钢管用 800MPa 级别高强度钢板的开发
邹 扬 隋鹤龙 赵 楠 秦丽晔 樊艳秋 张学锋
- 566 首钢 800MPa 级水电压力钢管用钢焊接技术研究
张 熹 章 军 金 茹 陈延清 邹 扬 隋鹤龙 郭占山 张 楠
- 574 关于水电站埋入式钢管防腐蚀形式的探讨
杨明信

五、管道规范与设计标准

- 579** 设计规范中与岔管有关的几个问题
钟秉章 陆 强
- 585** 关于月牙肋钢管岔管应力控制标准的问题
杨兴义 张 团
- 588** 水电站钢管岔管应力控制标准的比较与应用研究
伍鹤皋 周彩荣 石长征
- 596** 马鹿塘水电站钢管道设计实践和探索——兼谈地下埋管设计关键技术问题
刘项民
- 604** 浅谈水电站压力明钢管中美设计标准之异同
陈 涛 周华卿 陈丽芬
- 610** 压力管道水锤压力取值中美标准差异研究
陈 涛 高 悦 韩华超
- 616** 中美压力钢管规范在地面式明钢管设计中的比较研究
胡 蕾 伍鹤皋 石长征 刘 园
- 624** 中美水工混凝土结构配筋方法在隧洞设计中的应用比较
张智敏 苏 凯 伍鹤皋

一、压 力 管 道



溪洛渡水电站压力管道灌浆设计

苟芳蓉 杨怀德 邱云

(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072)

【摘要】 溪洛渡水电站压力管道采用钢筋混凝土与钢板衬砌相结合的衬砌型式。地下厂房防渗帷幕前采用钢筋混凝土衬砌, 帷幕后采用钢板衬砌。钢筋混凝土段, 为提高岩体的完整性, 保证围岩抗力充分发挥作用, 且减小地下厂房防渗帷幕压力, 全线采取系统固结灌浆。钢板衬砌段大部分按照围岩联合承载设计, 除采用固结灌浆外, 顶拱采用回填灌浆, 底部采用接触灌浆。为了减小钢板开孔对钢板材质的损伤, 减少开孔封堵焊接引起的敏感性裂纹, 固结灌浆采用了无盖重灌浆, 回填及接触灌浆采用了预埋管灌浆的新工艺, 灌后质量检查效果良好。

【关键词】 压力管道; 钢板衬砌; 固结灌浆; 回填灌浆; 接触灌浆; 无盖重灌浆; 预埋管; 灌浆优化

1 概述

溪洛渡水电站枢纽工程由混凝土双曲拱坝、坝身泄洪孔口、坝后水垫塘和二道坝、左右岸有压接无压泄洪洞、左右岸引水发电系统及送出工程组成。

左右岸引水发电系统对称布置, 由电站进水口、压力管道、地下厂房、主变压器室、尾水调压室、尾水洞及出口等建筑物组成。左右岸地下厂房各安装 9 台 770MW 水轮发电机组。压力管道两岸呈基本对称布置, 各布置 9 条地下埋管, 进口中心线高程 523.00m。压力管道沿纵剖面分为渐变段、上平段(或上压坡段)、上弯段、竖井段、下弯段、下平段、锥管段及连接段。下平段、锥管段及连接段与厂房纵轴线垂直, 中心间距 34m, 中心高程 359.00m。压力管道总长, 左岸 291.838~403.612m, 右岸 306.214~372.054m。下平段(含锥管段、连接段)长 59.8m, 内径 10m。

地下厂房防渗帷幕中心线距离厂房上游边墙 63.8m, 位于压力管道下弯段末段。压力管道下弯段及上游部分采用钢筋混凝土衬砌, 衬砌厚 0.9m。下平段、锥管段及与蜗壳连接段为钢板衬砌, 钢管与围岩间回填混凝土。下平段长 32m, 采用围岩联合承载, 钢板材质 16MnR, 板厚 28~30mm; 锥管段长 20m, 按地下埋管设计过渡到明管设计, 钢板材质 ADB610D, 板厚 34~54mm; 与蜗壳连接段长 7.8m, 按明钢管设计, 材质 ADB610D, 板厚考虑与蜗壳连接, 为 54~66mm。下平段钢管设加劲环, 间距 1m; 其余段加劲环间距 1.25m。为防止渗漏, 在钢衬起点处设置两道阻水环, 间距 0.5mm。钢衬段前设置四道阻水帷幕, 间距 1.5m, 与厂房防渗帷幕搭接。钢衬段首端加设两道阻水帷幕, 间距 0.75m, 与厂房防渗帷幕、下平段钢管组成封闭防渗体系。

压力管道纵剖面布置以左岸 1 号压力管道为例, 见图 1。